

PCT/EP200 4 / 0 0 0 3 2 4  
33  
**BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND**

**PRIORITY  
DOCUMENT**

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)



EP04100324  
REC'D 11 MAY 2004

WIPO

PCT

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung  
einer Patentanmeldung**

**Aktenzeichen:** 103 56 513.2

**Anmeldetag:** 03. Dezember 2003

**Anmelder/Inhaber:** Siemens Aktiengesellschaft,  
80333 München/DE

**Bezeichnung:** Verfahren zum Ermitteln des Schwingungszustandes  
von Schaufeln einer Strömungsmaschine

**IPC:** F 01 D, G 01 M, G 01 S

**Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ur-  
sprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.**

München, den 29. Januar 2004  
**Deutsches Patent- und Markenamt**  
Der Präsident  
Im Auftrag

Hintermeier

## Beschreibung

Verfahren zum Ermitteln des Schwingungszustandes von Schaufeln einer Strömungsmaschine

5

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Ermitteln des Schwingungszustandes von in einer Strömungsmaschine mit an einer in einem Gehäuse drehbar gelagerten Rotorwelle angeordneten Laufschaufeln. Ferner betrifft die Erfindung ein  
10 Verfahren zum Ermitteln des Schwingungszustandes von in einer Strömungsmaschine mit einem Gehäuse drehfest angeordneten Leitschaufeln, sowie eine Vorrichtung zur Durchführung der Verfahren.

15

Strömungsmaschinen, wie beispielsweise Dampf- oder Gasturbinen, werden als Wärme-Kraft-Maschinen in der Technik eingesetzt, um eine in einem Gasstrom gespeicherte Energie in eine mechanische Energie zu überführen, insbesondere eine Drehbewegung. Im Betrieb sind die Belastungen auf die Laufschaufeln, die durch die Drehbewegung und durch den auf die Laufschaufeln wirkenden Gasstrom hervorgerufen werden, sehr hoch.  
20 Auch die Belastungen, die nur auf den die Leitschaufeln umströmenden Gasstrom zurückzuführen sind, sind nicht zu vernachlässigen.

20

30

Im Betrieb geraten Lauf- und Leitschaufeln stets in mechanische Schwingungen. Sind die Schwingungen zu sehr ausgeprägt, kann es zu Rissbildung an den Schaufeln kommen, was im Extremfall zum Abreißen der Schaufeln führen kann. Insbesondere  
können abgerissene Laufschaufelteile wegen ihrer hohen kinetischen Energie Metallwände durchschlagen, wie z.B. die Gehäusewand der Turbine. Neben der Beschädigung der Turbine birgt dies auch eine Gefahr für die in der Nähe befindlichen Menschen.

35

Eine Überwachung der Schaufelschwingungen während des Betriebes ermöglicht, wenn es erforderlich ist, schnell zu reagieren

ren und den Ursachen der Schwingung rechtzeitig entgegenzuwirken.

Eine Möglichkeit zur Überwachung von Turbinenschaufelschwingungen lässt sich gemäß WO 95/35484 mit Hilfe von Mikrowellen ausführen. Dabei wird ein Mikrowellenleiterrohr in die Nähe einer rotierenden Schaufelreihe einer Turbine positioniert und zwar so, dass bei der Drehung der Rotorwelle die Schaufelspitzen die Öffnung des Wellenleiterrohres passieren.

5 Durch das Wellenleiterrohr wird dann eine kontinuierliche Welle von Mikrowellenenergie zur rotierenden Schaufelreihe gesendet. Beim Durchgang einer Schaufelspitze durch die Bahn der kontinuierlichen Welle wird eine reflektierte Welle erzeugt, die zusammen mit der gesendeten Welle eine stehende

10 Welle ausbildet. Diese bricht zusammen, sobald die Schaufelspitze weiterläuft und baut sich erst wieder auf, wenn die darauffolgende Schaufelspitze vor der Öffnung erscheint. Jeder Durchgang einer einzelnen Schaufelspitze durch die Bahn der kontinuierlichen Welle erzeugt ein Signal im Takt der an

15 der Öffnung vorbeilaufenden Schaufelspitzen. Abweichungen in der Regelmäßigkeit des Taktes liefern Informationen über den Schwingungszustand der Schaufel. In einer weiteren Ausführungsform wird die Intensität der reflektierten Welle gemessen, die sich ebenfalls im Takt der vorbeilaufenden Schaufelspitzen ändert. Die Signalauswertung geschieht dabei analog zu der vorstehend beschriebenen Ausführungsform. Mit dieser bekannten Vorrichtung ist es jedoch nur eingeschränkt möglich, Informationen über den Schwingungszustand zu erhalten.

20 Da die ausgesandte Welle an den Schaufelspitzen reflektiert wird, werden nur Schwingungsmoden detektiert, die an den Schaufelenden besonders ausgeprägt sind. Moden mit besonderer Ausprägung im Bereich zwischen Rotorwelle und Schaufelspitze können mit dieser Vorrichtung nicht erfasst werden. Insbesondere bei einer speziellen Ausführungsform von Schaufelrädern,

30 bei der alle Schaufelspitzen eines Rades mit einem Ring miteinander verbunden sind, lässt sich diese offenbarte Vorrichtung zur Schaufelschwingungsüberwachung nicht einsetzen. Denn

35

bei diesen Schaufelrädern kommen nur Schwingungsmoden vor, bei denen der Bereich zwischen Rotorwelle und Schaufelspitze schwingt, während die Schaufelspitzen selbst durch den Ring fixiert sind und nicht schwingen können. Des Weiteren ist es mit dieser offenbarten Vorrichtung prinzipiell nicht möglich, Schwingungen der Leitschaufeln zu messen.

Es ist daher die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens bereitzustellen, mit dem eine umfassendere Überwachung des mechanischen Schwingungszustandes der Lauf- und/oder Leitschaufeln erreichbar ist.

Als Lösung der Aufgabe wird mit der Erfindung ein Verfahren zum Ermitteln des Schwingungszustandes von in einer Strömungsmaschine mit an einer in einem Gehäuse drehbar gelagerten Rotorwelle angeordneten Laufschaufeln vorgeschlagen, wobei durch Mittel zum Erzeugen mindestens einer elektromagnetischen Welle mindestens eine elektromagnetische Welle im Strömungskanal in einem Bereich der Laufschaufeln ausgesendet wird, die mindestens eine elektromagnetische Welle von wenigstens einer Laufschaufel zumindest teilweise reflektiert, der reflektierte Teil der mindestens einen elektromagnetischen Welle durch Mittel zum Empfang empfangen und aus einem der empfangenen mindestens einen elektromagnetischen Welle entsprechenden Signal der Schwingungszustand der Laufschaufeln ermittelt wird.

Es wird der Effekt ausgenutzt, dass der reflektierte Anteil der mindestens einen elektromagnetischen Welle Informationen über den Schwingungszustand der Laufschaufeln enthält, die durch Auswertung des empfangenen Signals ermittelt werden können.

Es ist damit möglich, neben den Schwingungszuständen, die die Schaufelspitzen vibrieren lassen, auch Schwingungszustände festzustellen, deren Moden besonders in dem mittleren Bereich

der Schaufel, also zwischen Schaufelspitze und Rotorwelle, ausgeprägt sind. Dies hat den Vorteil, dass die Informationen über den Schwingungszustand der Schaufeln umfassender und genauer als beim Stand der Technik sind. Schäden, die auf Moden zurückzuführen sind, die besonders in dem mittleren Bereich der Schaufeln ausgeprägt sind, können durch rechtzeitiges Eingreifen vermieden werden.

Zur Ausführung des Verfahrens können auch mehrere elektromagnetische Wellen ausgesendet werden, die beispielsweise auch über den Umfang des Strömungskanals verteilt ausgesendet werden können. Ebenso können natürlich die reflektierten Anteile an unterschiedlichen Stellen des Umfangs des Strömungskanals empfangen werden, um hierdurch zusätzliche und/oder genauere Informationen über den Schwingungszustand der Laufschaufeln zu erhalten. Selbstverständlich kann das Verfahren natürlich auch dual zum Ermitteln eines Schwingungszustandes von in einer Strömungsmaschine angeordneten Leitschaufeln verwendet werden, wobei die Mittel zum Erzeugen mindestens einer elektromagnetischen Welle und zum Empfang auch an der drehbar gelagerten Rotorwelle angeordnet sein können.

Es wird mit der Erfindung weiterhin ein Verfahren zum Ermitteln des Schwingungszustandes von in einer Strömungsmaschine mit einem Gehäuse drehfest angeordneten Leitschaufeln vorgeschlagen, wobei durch Mittel zum Erzeugen mindestens einer elektromagnetischen Welle mindestens eine elektromagnetische Welle in einem Strömungskanal in einem Bereich der Leitschaufeln ausgesendet wird, die mindestens eine elektromagnetische Welle von wenigstens einer Leitschaufel zumindest teilweise reflektiert, der reflektierte Teil der mindestens einen elektromagnetischen Welle durch Mittel zum Empfang empfangen und aus einem der mindestens einen empfangenen elektromagnetischen Welle entsprechenden Signal der Schwingungszustand der Leitschaufeln ermittelt wird.

Darüber hinaus wird eine Kombination beider vorstehender Verfahren vorgeschlagen, um den Schwingungszustand von Lauf- und Leitschaufeln gleichzeitig oder getrennt zu bestimmen.

5   Vorteilhaft können somit auch nicht rotierende Elemente der Strömungsmaschine hinsichtlich ihres Schwingungszustandes überwacht werden. Es können beispielsweise über den Umfang der Strömungsmaschine verteilt angeordnete Mittel zum Aussenden mindestens einer elektromagnetischen Welle verwendet werden, wobei eine Anordnung bedarfsgerecht vorgesehen sein kann. Entsprechend können Mittel zum Empfang vorgesehen sein, um reflektierte elektromagnetische Wellen zu empfangen. Um Aufwand für den Betrieb einer solchen Anordnung zu reduzieren, kann beispielsweise vorgesehen sein, die Anordnung im  
10   Pulsbetrieb und/oder im Zeitmultiplex-Betrieb zu betreiben. Daneben kann auch vorgesehen sein, dass ein Mittel zum Aussenden mindestens einer elektromagnetischen Welle gleichzeitig auch für den Empfang verwendet wird, wobei dieses im Bereich der zu überwachenden Leitschaufeln am Gehäuse angeordnet ist.  
15  
20

Ferner wird vorgeschlagen, dass eine an die jeweilige Oberflächenform angepasste mindestens eine elektromagnetische Welle mit einer angepassten Wellenlänge verwendet wird. So kann vorteilhaft erreicht werden, dass die Auswirkungen der Schwingungen auf die mindestens eine elektromagnetische Welle besonders günstig sind, um beispielsweise für die Auswertereinheit einen hohen Signalpegel zu erreichen, aus dem der Schwingungszustand ermittelt wird.

30

Darüber hinaus wird vorgeschlagen, dass als mindestens eine elektromagnetische Welle mindestens eine Radarwelle verwendet wird. Vorteilhaft kann auf bekannte Mittel zum Erzeugen und zum Übertragen von Radarwellen zurückgegriffen werden. Aufwand sowie Kosten können weiter reduziert werden. Ferner kann  
35   durch die Verwendung von Radarwellen eine Anpassung hinsichtlich der Schwingungsfrequenz der Schaufeln erreicht werden,

so dass ein günstiger Signalpegel zur Überwachung des Schwingungszustandes erreicht werden kann.

5 In einer weiteren Ausgestaltung wird vorgeschlagen, dass das Mittel zum Erzeugen mindestens einer elektromagnetischen Welle für den Empfang mindestens einer elektromagnetischen Welle verwendet wird. Bauteile sowie Montage- und Konstruktionsaufwand an der Turbine können reduziert werden. So kann beispielsweise eine Radarantenne sowohl zum Senden als auch für  
10 den Empfang verwendet werden.

Weiterhin wird vorgeschlagen, dass aus einem Frequenzvergleich der mindestens einen ausgesandten mit der mindestens einen empfangenen elektromagnetischen Welle der Schwingungszustand der Schaufeln ermittelt wird. So kann vorteilhaft mit  
15 einfachen und kostengünstigen Mitteln eine Auswertung des Signals erreicht werden. Daneben können auch andere geeignete Wellenlängen verwendet werden, beispielsweise Millimeterwellen und dergleichen.

20

Mit der Erfindung wird ferner eine Vorrichtung zur Durchführung der erfindungsgemäßen Verfahren vorgeschlagen, welche Mittel zum Erzeugen einer elektrischen Schwingung, Mittel zur Erzeugung mindestens einer elektromagnetischen Welle aus der Schwingung, Mittel zum Empfang mindestens einer elektromagnetischen Welle und eine Auswerteeinheit zur Auswertung eines der mindestens einen empfangbaren elektromagnetischen Welle entsprechenden Signals aufweist. Vorteilhaft sind die Mittel zur Erzeugung mindestens einer elektromagnetischen Welle und  
30 zum Empfang in einem Strömungskanal der Strömungsmaschine angeordnet. Diese können jeweils durch Antennen gebildet sein, die geeignet sind, die elektromagnetischen Wellen zu erzeugen und auszusenden bzw. zu empfangen und ein entsprechendes Signal zu erzeugen. Das Mittel zum Erzeugen einer elektrischen  
35 Schwingung kann beispielsweise durch einen elektronischen Oszillator gebildet sein, der mit der Antenne zur Erzeugung mindestens einer elektromagnetischen Welle in Wirkverbindung

steht. Das Mittel zum Empfang mindestens einer elektromagnetischen Welle steht vorzugsweise mit einer Auswerteeinheit in Wirkverbindung, die in der Lage ist, aus dem vom Mittel zum Empfang gelieferten Signal eine Information über den Schwingungszustand der Schaufeln zu ermitteln.

Weiterhin wird vorgeschlagen, dass das Mittel zur Erzeugung mindestens einer elektromagnetischen Welle sowohl zum Senden als auch zum Empfang mindestens einer elektromagnetischen Welle geeignet ist. Die Anzahl der Bauelemente kann auf diese Weise weiter reduziert werden. So kann beispielsweise das Mittel zur Erzeugung mindestens einer elektromagnetischen Welle über ein Kopplungsmittel mit dem Mittel zum Erzeugen einer Schwingung in Wirkverbindung stehen. Ein der mindestens einen empfangenen elektromagnetischen Welle entsprechendes Signal wird über das Kopplungsmittel der Auswerteeinheit zugeführt. Es können auch mehrere Kopplungsmittel und Antennen vorgesehen sein, die beispielsweise parallel mit mehreren zugeordneten Auswerteeinheiten oder auch mit beispielsweise einer Auswerteeinheit im Zeitmultiplex in Verbindung stehen.

In einer vorteilhaften Weiterbildung der vorliegenden Erfindung wird vorgeschlagen, dass das Mittel zur Erzeugung mindestens einer elektromagnetischen Welle mindestens eine Radarantenne ist. Die Radarantenne kann kompakt gebaut sein und kleine Abmessungen aufweisen. Die Radarantenne ist sowohl zum Aussenden mindestens einer Radarwelle als auch zum Empfang mindestens einer Radarwelle geeignet. Dazu kann sie beispielsweise mit einem Zirkulator in Verbindung stehen, über den eine Schwingung zur Antenne zuführbar ist, wobei zugleich ein von der Radarantenne geliefertes Empfangssignal an eine Auswerteeinheit übermittelbar ist. Besonders vorteilhaft kann ein Verfahren nach dem Doppler-Prinzip eingesetzt werden, bei dem die Empfangswellenlänge von den Sendewellenlänge abweicht. Durch geeignete, insbesondere elektronische Mittel kann ein gleichzeitiger Betrieb des Aussendens und des Empfangens von elektromagnetischen Wellen erreicht werden. Dar-



über hinaus kann auch ein Wellenimpuls ausgesendet werden, wobei in den Impulspausen das Mittel zum Erzeugen mindestens einer elektromagnetischen Welle auf Empfang geschaltet wird. Energie und Aufwand zur Erzeugung der mindestens einen elektromagnetischen Welle kann eingespart werden.

In einer weiteren Ausgestaltung wird vorgeschlagen, dass das Mittel zur Erzeugung mindestens einer elektromagnetischen Welle in der Strömungsmaschine, insbesondere einer Gasturbine, angeordnet ist. Gerade im Großmaschinenbereich kann mit der erfindungsgemäßen Vorrichtung eine kostengünstige Überwachung der Schaufeln erreicht werden, wodurch insbesondere teure Stillstandzeiten wegen Wartung und Reparaturmaßnahmen weiter reduziert werden können. So kann beispielsweise eine Erhöhung der Verfügbarkeit einer mit einer Gasturbine ausgerüsteten Energieversorgung erreicht werden. Die erfindungsgemäße Vorrichtung kann darüber hinaus derart ausgestaltet sein, dass die Auswirkungen auf die Gasströmung im Strömungskanal der Strömungsmaschine weitgehend gering gehalten werden.

Weitere Vorteile und Merkmale sind der folgenden Figurenbeschreibung zu entnehmen. Gleiche Bauteile sind in unterschiedlichen Figuren mit gleichen Bezugszeichen versehen. Hinsichtlich der Funktionen gleicher Bauteile wird auf die Beschreibung zum ersten Ausführungsbeispiel verwiesen.

Es zeigen:

- 30 Figur 1 eine Gasturbine des Stands der Technik in einer teilweise aufgeschnittenen, perspektivischen Ansicht,
- Figur 2 eine vergrößerte Ansicht eines Ausschnitts aus der Zeichnung in Figur 1 mit einer erfindungsgemäßen Vorrichtung,
- 35 Figur 3 ein Prinzipschaltbild zur Ausführung des erfindungsgemäßen Verfahrens,
- Figur 4 eine Laufschaufel der Gasturbine in Figur 1,

Figur 5 eine Leitschaufel der Gasturbine in Figur 1,  
Figur 6 ein Prinzipschaltbild einer weiteren Ausgestaltung  
zur Überwachung von Leitschaufeln und  
Figur 7 Antennen-Anordnung zur Überwachung von Laufschaufeln.

5

In Figur 1 ist eine Gasturbine 1 des Standes der Technik dargestellt, die für eine hohe Gaseintrittstemperatur von ca. 1200°C konzipiert ist. Die Gasturbine 1 weist an einer in einem Gehäuse 2 drehbar gelagerten Rotorwelle 3 angeordnete Laufschaufeln 4 auf. Ferner sind mit dem Gehäuse 2 drehfest verbundene Leitschaufeln 11 vorgesehen (Figur 4, Figur 5). Die Laufschaufeln 4 und die Leitschaufeln 11 sind insbesondere jeweils mit einer Oberflächenbeschichtung 12, 13 versehen, um den physikalischen Beanspruchungen im Strömungskanal 6 der Gasturbine 1 Stand zu halten.

10

15

Wie in Figur 2 dargestellt, ist die Turbine 1 mit einer erfindungsgemäßen Vorrichtung ausgestattet, welche eine Antenne 8, insbesondere eine Radarantenne, aufweist, die in den Strömungskanal 6 der Gasturbine 1 hineinragt. Die Radarantenne 8 ist im Bereich der zu überwachenden Laufschaufeln 4 insbesondere zwischen zwei Laufschaufelreihen angeordnet. Die Radarantenne 8 dient als Mittel zum Aussenden mindestens einer elektromagnetischen Welle sowie auch als Mittel zum Empfang der mindestens einen elektromagnetischen Welle. Die Radarantenne 8 steht in Kommunikationsverbindung mit einem Zirkulator 16. Die erfindungsgemäße Vorrichtung weist ferner einen Hochfrequenzgenerator 14 auf, der über einen Verstärker 15 mit dem Zirkulator 16 in Wirkverbindung steht. Der Zirkulator 16 steht zugleich mit einem Empfangsverstärker 17 und mit einem Mischer 18 in Verbindung, der seinerseits zugleich mit dem Hochfrequenzgenerator 14 verbunden ist. Ein Ausgang des Mixers 18 ist mit der Auswerteeinheit 19 gekoppelt (Figur 2).

20

30

35

Im in den Figuren 2 und 3 gezeigten Ausführungsbeispielen wird das Prinzip eines Dopplerradars verwendet. Hierbei wird

mindestens eine elektromagnetische (Radar-)Welle 31 mit einer festen Wellenlänge ausgesendet, die von einem relativ zur Antenne 8 bewegten, zu überwachenden Objekt (= Laufschaufel 4) reflektiert wird. Durch die Relativbewegung ist die Empfangswellenlänge im reflektierten Teil 32 der mindestens einen elektromagnetischen Welle gegenüber der ausgesendeten Wellenlänge gemäß den bekannten physikalischen Effekten verschoben und die Antenne 8 erzeugt ein entsprechendes Signal.

10 Im einzelnen läuft das Verfahren des hier behandelten Ausführungsbeispiels wie in Figur 3 gezeigt und im folgenden beschrieben ab.

15 Ein elektronischer Hochfrequenzgenerator 14 erzeugt eine Hochfrequenz mit einer festen, vorgebbaren Wellenlänge, welche vorzugsweise einer der in Tabelle 1 angegebenen Frequenzen  $f_0$  entspricht.

$f_0$ / GHz	2.4	5.8	24	61	122	245
$f_D$ / kHz	6.032	14.577	60.32	153.3	306.6	459.9

Tabelle 1

20

Die Hochfrequenz wird einem Verstärker 15 zugeführt, der seinerseits die verstärkte Hochfrequenz über den Zirkulator 16 der Antenne 8 zuführt. Die Antenne 8 erzeugt aus der zugeführten Hochfrequenzenergie mindestens eine entsprechende Radarwelle 31 und sendet diese gemäß ihrer Strahlungscharakteristik aus. Die an der Radarantenne 8 vorbeilaufenden Laufschaufeln 4 reflektieren einen Teil 32 der Radarstrahlung zurück zur Antenne 8, wobei sie aufgrund ihrer Relativbewegung zur Antenne 8, zusammengesetzt aus Drehbewegung und Schwingung, eine Wellenlängenänderung bewirken. In der hier dargestellten Ausgestaltung mit einer Rotationsfrequenz von 60 Hz und mit einem wirksamen Abstand von ca. 1 m zwischen der Drehachse und dem durch die mindestens eine Radarwelle 31 erfassten Bereich der Laufschaufel 4, ergeben sich die zur Wel-

25

30

lenlängenänderung entsprechenden Frequenzen  $f_D$  gemäß der Formel:

$$f_D(t) = f_0 \cdot \frac{2v(t)}{c_0} .$$

5

Dabei ist  $f_0$  die Frequenz der mindestens einen ausgesandten Welle 31,  $v(t)$  die relativen Geschwindigkeiten der die mindestens eine elektromagnetischen Welle 31 reflektierenden Oberflächen der Laufschaufeln 4 und Leitschaufeln 11 bezüglich der Antenne 8 und  $c_0$  die Ausbreitungsgeschwindigkeit der mindestens einen elektromagnetischen Welle 31, 32.

10

Die mindestens eine reflektierte elektromagnetische Welle 32 wird über die Antenne 8 wieder in ein elektrisches Signal transformiert, welches dem Zirkulator 16 zugeführt wird. Der Zirkulator 16 trennt nun das empfangene Signal vom gesendeten Signal und führt dies dem Empfangsverstärker 17 zu. Vom Empfangsverstärker 17 gelangt das Signal auf einen Mischer 18, in dem es mit einem Signal, welches der Hochfrequenz des Hochfrequenzgenerators 14 entspricht gemischt wird. Dabei werden die Phasenlagen der Hochfrequenz vom Hochfrequenzgenerator 14 und des Signals vom Empfangsverstärker 17 entsprechend berücksichtigt. Das Ausgangssignal des Mixers 18 liefert ein Signal mit der Differenzfrequenz zwischen Empfangsfrequenz und ausgesandeter Hochfrequenz. Dieses Signal mit der Frequenz  $f_D$ , wie in Tabelle 1 ausgeführt, wird der Auswerteeinheit 19 zugeführt, die aus den Eigenschaften dieses Signals (= Amplitude und/oder Phase und/oder deren spektrale Verteilung) den Schwingungszustand der entsprechenden Laufschaufeln 4 ermittelt. Das ermittelte Auswerteergebnis wird über nicht näher dargestellte Anzeigeeinheiten bzw. Meldeeinheiten an die überwachende Stelle gemeldet bzw. an eine Zentrale weitergeleitet. Die Auswerteeinheit kann auch mit einer Vergleichsfunktion ausgestattet sein, mit der das Erreichen eines vorgebbaren Schwellwertes feststellbar ist. So kann beispielsweise bei Erreichen des Schwellwertes eine Meldung

20

25

30

35

automatisch ausgegeben werden, dass eine Wartung der Turbine 1 durchzuführen ist. Vorzugsweise kann hierzu die Signalintensität verwendet werden.

5 Die Antenne 8 ist derart ausgebildet und angeordnet, dass die mindestens eine reflektierte elektromagnetische Welle 32 zumindest teilweise gegenüber der mindestens einen ausgesendeten elektromagnetischen Welle 31 eine Dopplerverschiebung (= Frequenzverschiebung) aufweist. In Figur 7 sind beispielhafte  
10 Ausführungsformen und Anordnungen verschiedener Antennen 81, 82 und 83 mit jeweils zugehöriger Strahlungscharakteristik 810, 820 bzw. 830 dargestellt. Die Antennen 81, 82 und 83 sind im Strömungskanal 6 im Bereich der zu überwachenden Laufschaufeln 4 und/oder Leitschaufeln 11 zwischen den Schau-  
15 felreihen angeordnet. Geeignet ist eine Ausführung als Stab-Antenne oder als Koaxial-Antenne insbesondere als koaxial ausgeführte Dipolantenne. Andere Antennen-Formen sind jedoch ebenfalls denkbar. Die Strahlungscharakteristik kann symmetrisch, wie bei den Antennen 81 und 83, aber asymmetrisch,  
20 wie bei der Antenne 82, ausgebildet sein. Für die Ausbildung einer möglichst großen Dopplerverschiebung ist es günstig, wenn die bewegten Teile, hier also die Laufschaufeln 4, den durch die Strahlungscharakteristik 810, 820 oder 830 abgedeckten Raumbereich passieren. Eine Bewegung, bei der sich die Laufschaufel 4 - in ihrer Gesamtheit oder nur in bestimmten Bereichen ihrer Oberfläche (vgl. die in Figur 4 dargestellte, in mehrere Richtungen gebogene Kontur) - zunächst auf die betreffende Antenne 81, 82 oder 83 zu bewegt und dann wieder von ihr entfernt, ist diesbezüglich besonders vorteil-  
30 haft. Es ist aber auch möglich, mit dieser Anordnung die Dopplerverschiebung, hervorgerufen nur durch die Schwingung der relativ zu den Antennen 81, 82 oder 83 feststehenden Teile, hier also die Leitschaufeln 11, festzustellen. Die Dopplerverschiebung rührt in diesem Fall nur von der Schwingungsbewegung nicht aber von einer Relativbewegung durch die Dreh-  
35 bewegung her.

In einer weiteren Ausgestaltung der vorliegenden Erfindung werden die Leitschaufeln 11 und/oder die Laufschaufeln 4 einer Gasturbine 1 mittels Pulsradar überwacht. Ein Prinzipschaltbild einer solchen Ausgestaltung zur Erfassung der Leitschaufeln 11 zeigt Figur 6. Im Bereich der mit dem Gehäuse 2 drehfest verbundenen Leitschaufeln 11 der Gasturbine 1 sind über den Umfang des Strömungskanals 6 der Gasturbine 1 verteilt Sendeantennen 5 zur Aussendung mindestens einer elektromagnetischen Welle 31 angeordnet. Die Antennen 5 sind mit einem Hochfrequenzgenerator 9 verbunden, der jede Antenne mit Hochfrequenz versorgt. Der Hochfrequenzgenerator 9 ist ein Pulsgenerator, der kurze Hochfrequenzimpulse mit einem vorgebbaren Puls-Pausen-Verhältnis erzeugt und diese im Zeitmultiplex auf die mit ihm verbundenen Antennen 5 verteilt. Ferner sind über den Umfang des Strömungskanals 6 verteilt Empfangsantennen 7 zum Empfang von reflektierten elektromagnetischen Wellen 32 angeordnet. Die Empfangsantennen 7 sind mit einem Multiplexer 20 verbunden, der zugleich eine Funktion als Empfangsverstärker aufweist. In dieser Ausgestaltung wird über den Multiplexer 20 erreicht, dass zeitdiskret jeweils eine Antenne 7 mit der Auswerteeinheit 19 in Verbindung steht. Zugleich erhält die Auswerteeinheit 19 Hochfrequenz aus dem Hochfrequenzgenerator 9. Daneben erhält die Auswerteeinheit 19 über eine Leitung 21 ein Kanalauswahlsignal, welches eine Information über die ausgewählte Antenne 7 an die Auswerteeinheit 19 übermittelt. Die hier dargestellte Leitschaufelüberwachung wird im Impulsbetrieb betrieben, so dass der Energieverbrauch insgesamt gering gehalten werden kann. Darüber hinaus kann erreicht werden, dass die Bauelemente zur Erzeugung mindestens einer elektromagnetischen Welle insgesamt für eine geringere Belastung hinsichtlich der Thermik ausgelegt sein können.

Die vorliegende Erfindung ist nicht auf das Ausführungsbeispiel beschränkt anzusehen. Ebenso in den Schutzbereich hineingehend ist eine duale Anordnung zur Messung eines

Schwingungszustandes der Leitschaufeln anzusehen, bei der beispielsweise eine Radarantenne an der Rotorwelle der Turbine angeordnet ist. So kann beispielsweise die an den Leitschaufeln vorbeilaufende Radarantenne ein entsprechendes Radarsignal aussenden, wobei unter Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens aus den Empfangssignalen entsprechende Informationen über den Schwingungszustand der Leitschaufeln gewonnen werden können. Darüber hinaus können auch mehrere Radarantennen zum Aussenden und/oder für den Empfang vorgesehen sein, um beispielsweise eine Redundanz der Messung oder auch eine höhere Genauigkeit zu erreichen.

Die vorliegende Erfindung beschränkt sich nicht auf die Verwendung nur einer einzigen elektromagnetischen Welle 31, 32. Sie schließt selbstverständlich auch das Aussenden und Empfangen mehrerer elektromagnetischer Wellen oder von Wellenspektren ein.

## Patentansprüche

1. Verfahren zum Ermitteln des Schwingungszustandes von in einer Strömungsmaschine (1) mit an einer in einem Gehäuse (2) drehbar gelagerten Rotorwelle (3) angeordneten Laufschaufeln (4), wobei durch Mittel (5,8) zum Erzeugen mindestens einer elektromagnetischen Welle mindestens eine elektromagnetische Welle (31) in einem Strömungskanal (6) in einem Bereich der Laufschaufeln (4) ausgesendet wird, die mindestens eine elektromagnetische Welle (31) von wenigstens einer Laufschaufel (4) zumindest teilweise reflektiert, der reflektierte Teil (32) der mindestens einen elektromagnetischen Welle durch Mittel zum Empfang (7, 8) empfangen und aus einem der empfangenen mindestens einen elektromagnetischen Welle entsprechenden Signal der Schwingungszustand der Laufschaufeln (4) ermittelt wird.

2. Verfahren zum Ermitteln des Schwingungszustandes von in einer Strömungsmaschine (1) mit einem Gehäuse (2) drehfest angeordneten Leitschaufeln (11), wobei durch Mittel (5, 8) zum Erzeugen mindestens einer elektromagnetischen Welle (31) mindestens eine elektromagnetische Welle in einem Strömungskanal (6) in einem Bereich der Leitschaufeln (11) ausgesendet wird, die mindestens eine elektromagnetische Welle (31) von wenigstens einer Leitschaufel (11) zumindest teilweise reflektiert, der reflektierte Teil (32) der mindestens einen elektromagnetischen Welle durch Mittel zum Empfang (7, 8) empfangen und aus einem der empfangenen mindestens einen elektromagnetischen Welle entsprechenden Signal der Schwingungszustand der Leitschaufeln (11) ermittelt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, dass an der mit Laufschaufeln (4) und Leitschaufeln (11) versehenen Rotorwelle (3) der Strömungsmaschine (1) sowohl der Schwingungszustand der Laufschaufeln (4) als auch der Schwingungszustand der Leitschaufeln (11) ermittelt wird.



4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens eine an die jeweilige Oberflächenform angepasste elektromagnetische Welle (31) mit einer angepassten Wellenlänge verwendet wird.

5

5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass als mindestens eine elektromagnetische Welle mindestens eine Radarwelle (31) verwendet wird.

10

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass das Mittel (8) zum Erzeugen mindestens einer elektromagnetischen Welle für den Empfang mindestens einer elektromagnetischen Welle (32) verwendet wird.

15

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass aus einem Frequenzvergleich der mindestens einen ausgesandten mit der mindestens einen empfangenen elektromagnetischen Welle (32) der Schwingungszustand der Schaufeln ermittelt wird.

20

8. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach einem der vorhergehenden Ansprüche mit Mitteln (9) zum Erzeugen einer elektrischen Schwingung, Mitteln (5, 8) zur Erzeugung mindestens einer elektromagnetischen Welle (31) aus der Schwingung, Mitteln (7, 8) zum Empfang mindestens einer elektromagnetischen Welle (32) und mit einer Auswerteeinheit (10) zur Auswertung der mindestens einen empfangbaren elektromagnetischen Welle (32).

30

9. Vorrichtung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass das Mittel (8) zur Erzeugung mindestens einer elektromagnetischen Welle sowohl zum Senden als auch zum Empfang mindestens einer elektromagnetischen Welle (31, 32) geeignet ist.

35

10. Vorrichtung nach Anspruch 8 oder 9, dadurch gekennzeichnet, dass das Mittel (5, 8) zur Erzeugung mindestens einer elektromagnetischen Welle (31) eine Radarantenne ist.

11. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 8 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass das Mittel (5, 8) zur Erzeugung mindestens einer elektromagnetischen Welle (31) im Strömungskanal  
5 (6) der Strömungsmaschine (1), insbesondere einer Gasturbine, angeordnet ist.

10

## Zusammenfassung

Verfahren zum Ermitteln des Schwingungszustandes von Schaufeln einer Strömungsmaschine

5

Das Verfahren dient zum Ermitteln des Schwingungszustandes von in einer Strömungsmaschine mit an einer in einem Gehäuse drehbar gelagerten Rotorwelle angeordneten Laufschaufeln (4) und/oder Leitschaufeln.

10

Durch Mittel (8) zum Erzeugen mindestens einer elektromagnetischen Welle wird mindestens eine elektromagnetische Welle (31) in einem Strömungskanal in einem Bereich der Schaufeln (4) ausgesendet. Die elektromagnetische Welle (31) wird von wenigstens einer Schaufel (4) zumindest teilweise reflektiert. Der reflektierte Teil (32) der mindestens einen elektromagnetischen Welle wird durch Mittel zum Empfang (8) empfangen und aus einem der mindestens einen empfangenen elektromagnetischen Welle (32) entsprechenden Signal wird der Schwingungszustand der jeweiligen Schaufeln (4) ermittelt.

15

20

FIG 3

FIG 1

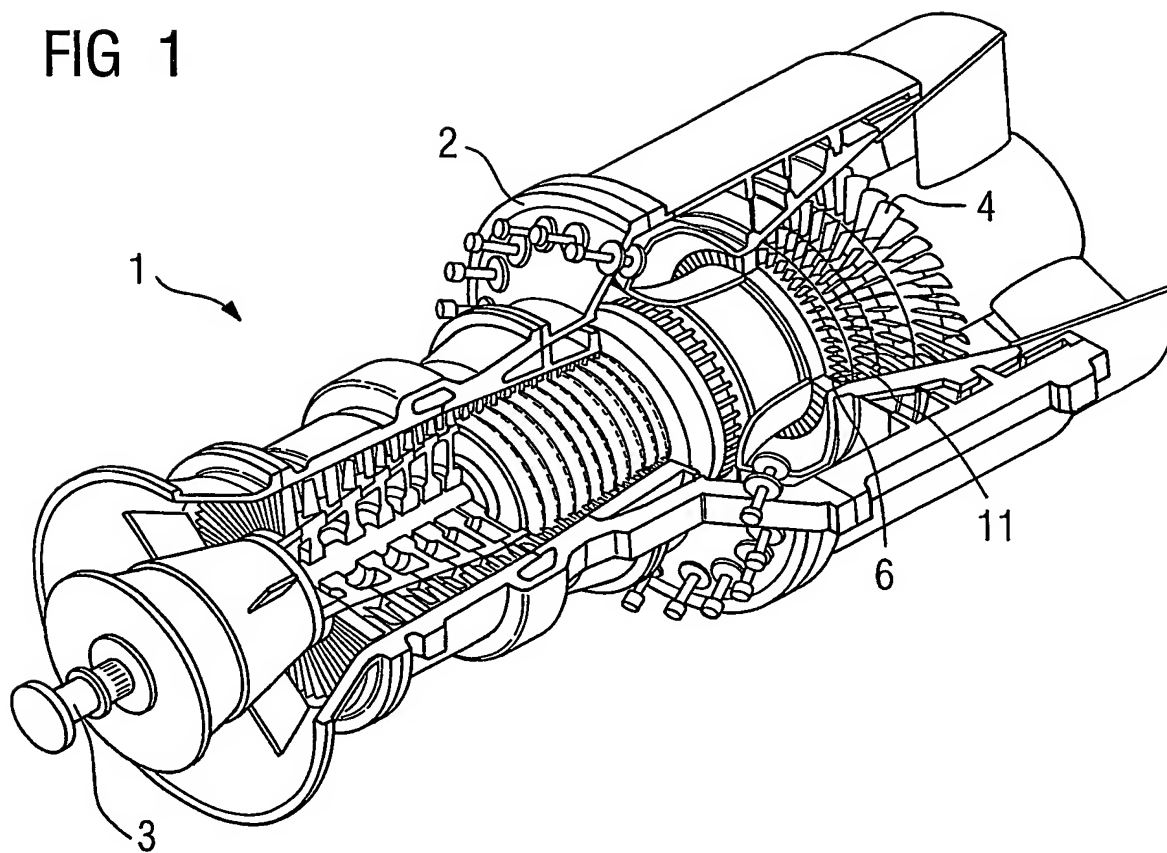
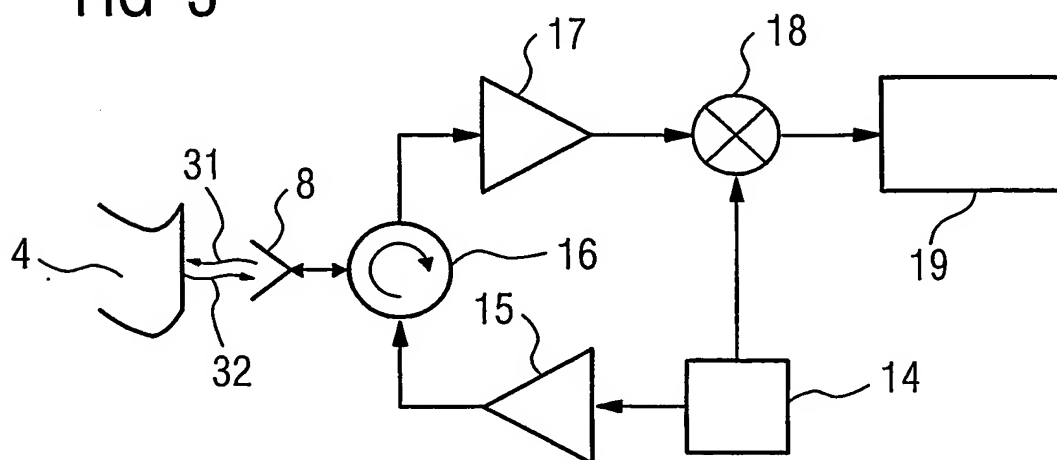


FIG 3



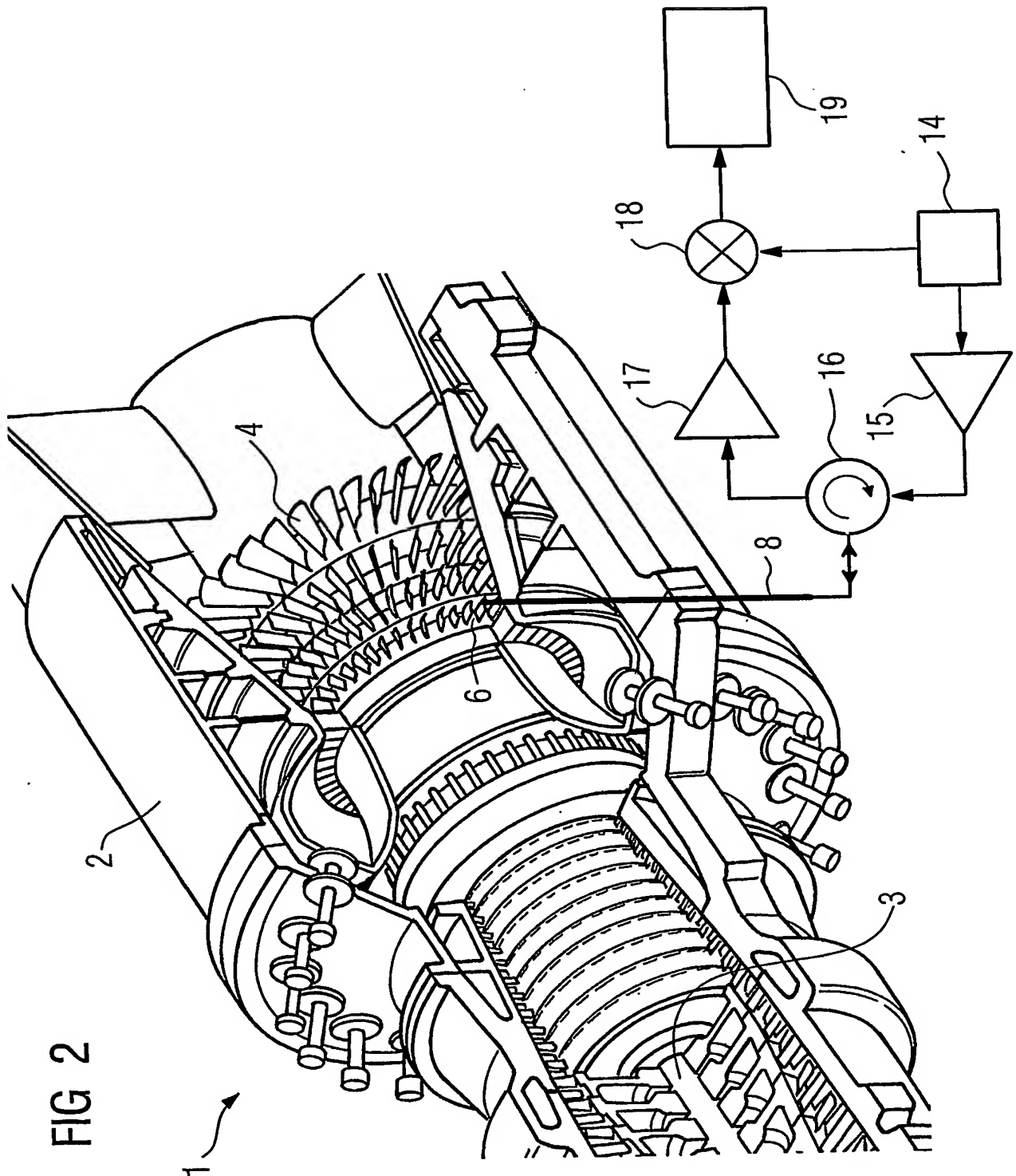


FIG 4

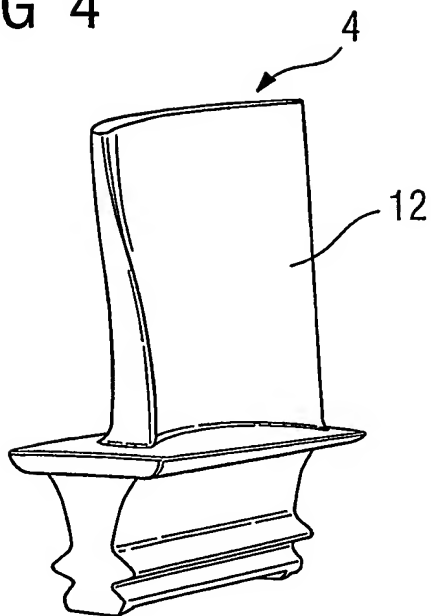


FIG 5

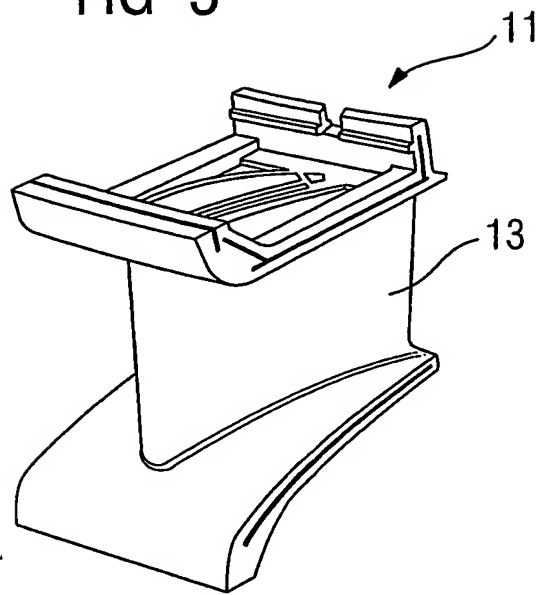


FIG 7

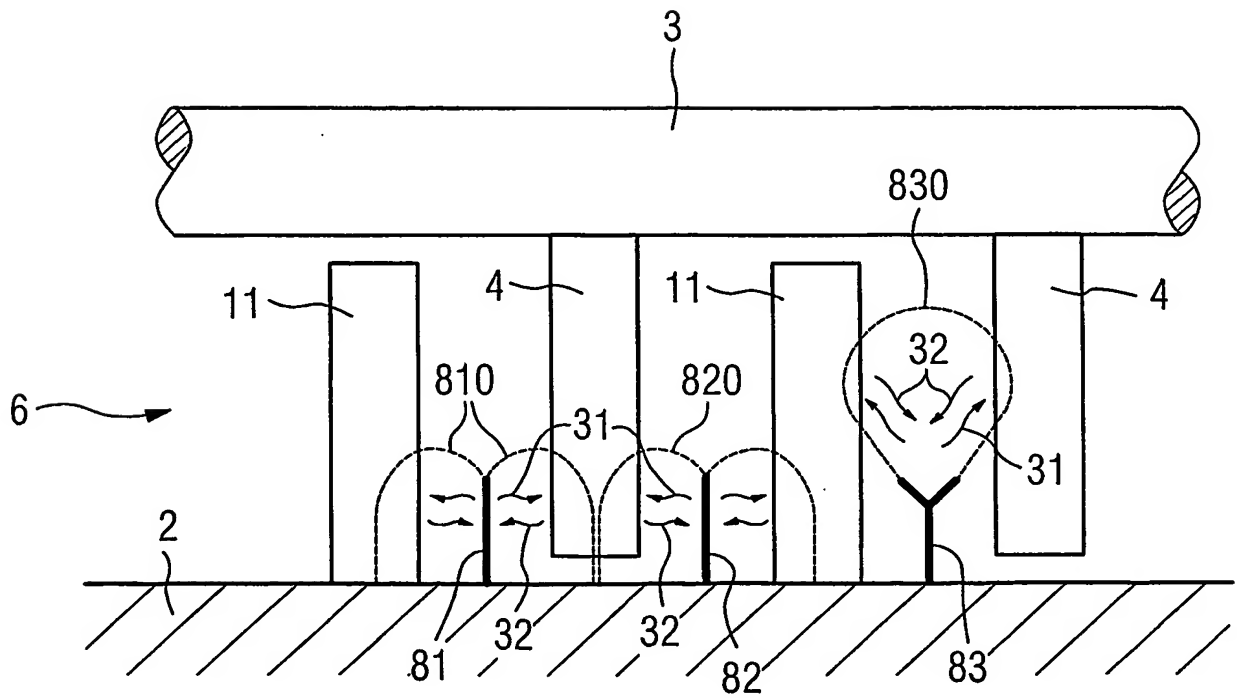


FIG 6

